

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Grado en Ingeniería Electrónica Industrial y Automática

**SISTEMA DE CONTROL DOMÓTICO PARA OPTIMIZAR LA
GESTIÓN ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA
DE UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR**



Memoria económica

Autor: Iván Campaña Soler

Javier Ortiz Arenales

Director: Manuel Andrés Manzanares Brotons

Convocatoria: Enero 2020

Índice

1.	COSTE DEL PROTOTIPO REAL	3
1.1.	Instalación fotovoltaica y sistema de alimentación	3
1.2.	Sistema de control domótico.....	5
1.2.1.	Hardware	5
1.2.2.	Software.....	6
1.2.3.	Comunicaciones	7
1.2.4.	Unidad domótica principal	8
1.2.5.	Sistema de iluminación	9
1.2.6.	Sistema de climatización	10
1.2.7.	Limitación de cargas	10
1.2.8.	Sistema de seguridad	11
1.2.9.	Simulación de presencia.....	12
1.2.10.	Monitorización de consumos.....	12
1.2.11.	Evaluación de costes	13
2.	COSTE DEL PROTOTIPO DE PRUEBAS	14
2.1.	PCB1	14
2.2.	PCB2	15
2.3.	Prototipo de la unidad domótica.....	16
2.4.	Prototipo de comunicaciones.....	17
3.	COSTE DE UNA PRODUCCIÓN SERIADA	18

1. Coste del prototipo real

En este apartado se expone el coste económico del proyecto real. En éste se han tenido en cuenta las horas realizadas por dos ingenieros *junior* y el coste de los materiales de cada parte del sistema. Por otro lado, se realiza una comparación en la cual se evalúa las horas que realizarían dos ingenieros experimentados; cabe destacar que desarrollarían el proyecto en menos tiempo que los ingenieros *junior*, pero siendo cada hora más costosa.

1.1. Instalación fotovoltaica y sistema de alimentación

Para el dimensionado de la instalación fotovoltaica se han realizado diversos estudios. Primeramente, se ha de evaluar la situación de la vivienda, así como su ubicación, para así poder plantear diferentes soluciones. Conociendo ya el contexto, se realiza una aproximación del consumo estimado para, posteriormente, calcular la producción energética. Finalmente, con objetivo de alimentar la vivienda y el sistema domótico se estudia el dimensionado de la instalación fotovoltaica, el convertidor Buck y el sistema de alimentación de emergencia.

En la Tabla 1 se muestran las horas realizadas por dos ingenieros *junior* en el estudio de la instalación fotovoltaica y el sistema de alimentación. También se tiene en cuenta el coste del montaje realizado por un operario, con un sueldo inferior.

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	30	18	540,00 €
Estudio del consumo	40	18	720,00 €
Estudio de la producción energética	70	18	1.260,00 €
Dimensionado de la instalación	50	18	900,00 €
Diseño convertidor Buck	30	18	540,00 €
Diseño alimentación de emergencia	20	18	360,00 €
Montaje instalación	80	10	800,00 €
Horas totales: 320		TOTAL (IVA no inc.)	5.120,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	6.195,20 €

Tabla 1. Cálculo de los costes de personal junior. Fuente: propia.

En la siguiente tabla se muestran las horas previstas del proyecto realizado por dos ingenieros experimentados. Se puede observar que las horas trabajadas son menores a las de los *junior*, sin embargo, al tener un sueldo bruto mayor, su coste es más elevado.

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	25	30	750,00 €
Estudio del consumo	30	30	900,00 €
Estudio de la producción energética	60	30	1.800,00 €
Dimensionado de la instalación	40	30	1.200,00 €
Diseño convertidor Buck	20	30	600,00 €
Diseño alimentación de emergencia	15	30	450,00 €
Montaje instalación	80	10	800,00 €
Horas totales: 270		TOTAL (IVA no inc.)	6.500,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	7.865,00 €

Tabla 2. Cálculo de los costes de personal experimentado. Fuente: propia.

En la Tabla 3 se exponen los precios de los elementos elegidos en el dimensionado de la instalación fotovoltaica:

Descripción	Modelo	Cantidad	Precio unitario [€]	Subtotal
Paneles	TSM-335 DE06M.08	12	156,00 €	1.872,00 €
Reguladores	MPPT 150/85	2	719,95 €	1.439,90 €
Baterías	4 TOPzS 353	6	1.587,52 €	9.525,12 €
Inversores	Phoenix Smart 24/3000	2	1.207,50 €	2.415,00 €
			TOTAL (IVA no inc.)	15.252,02 €
			IVA	21 %
			TOTAL (IVA inc.)	18.454,94 €

Tabla 3. Cálculo de los costes de material de la instalación fotovoltaica. Fuente: propia.

En la Tabla 4 se muestra el coste del convertidor Buck, contando así el precio de los componentes seleccionados:

Descripción	Modelo	Cantidad	Precio unitario [€]	Subtotal
Inductor	DS1-25-0002	1	7,12 €	7,12 €
Condensador	SK055C565KAR	1	9,32 €	9,32 €
Mosfet	SP8K52FRATB	1	0,90 €	0,90 €
Diodo	S3A	1	0,24 €	0,24 €
			TOTAL (IVA no inc.)	17,58 €
			IVA	21 %
			TOTAL (IVA inc.)	21,27 €

Tabla 4. Cálculo de los costes de material del convertidor Buck. Fuente: propia.

Por último, en la Tabla 5, se muestran los elementos seleccionados en el sistema de alimentación de emergencia:

Descripción	Modelo	Cantidad	Precio unitario [€]	Subtotal
Generador	Mallorca III	1	1.086,22 €	1.086,22 €
Rectificador	ADC7480/24	1	2.365,18 €	2.365,18 €
			TOTAL (IVA no inc.)	3.451,40 €
			IVA	21 %
			TOTAL (IVA inc.)	4.176,19 €

Tabla 5. Cálculo de los costes de material de la alimentación de emergencia. Fuente: propia.

Así el coste total del material del dimensionado de la instalación fotovoltaica y el sistema de alimentación, aplicándole el IVA, equivale a 22.652,40 €.

1.2. Sistema de control domótico

En este apartado se detallan las horas realizadas en cada parte del proyecto, así como la comparación con dos ingenieros experimentados. También se muestra el precio de los componentes de cada sistema domótico de la vivienda.

1.2.1. Hardware

Para el estudio del hardware, es necesario el conocimiento de la vivienda, en el cual se debe estudiar la distribución de los diferentes sistemas con tal de poder diseñar el circuito correspondiente a cada componente. Así se realizaría la selección de componentes y las pruebas correspondientes.

En la siguiente tabla se detallan las horas realizadas por dos ingenieros *junior* en el estudio del hardware del sistema domótico:

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	40	18	720,00 €
Distribución equipos	35	18	630,00 €
Diseño electrónico	75	18	1.350,00 €
Selección de componentes	60	18	1.080,00 €
Pruebas hardware	40	18	720,00 €
Horas totales:		250	TOTAL (IVA no inc.) 4.500,00 €
			IVA 21 %
			TOTAL (IVA inc.) 5.445,00 €

Tabla 6. Cálculo de los costes de personal junior. Fuente: propia.

En la Tabla 7 se exponen los costes previstos si hubiese sido realizado por dos ingenieros experimentados. Comparándolo con la Tabla 6, se puede observar como las horas realizadas son mucho menores en el segundo caso, sin embargo no se logra a disminuir el precio total.

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	20	30	600,00 €
Distribución equipos	30	30	900,00 €
Diseño electrónico	50	30	1.500,00 €
Selección de componentes	35	30	1.050,00 €
Pruebas hardware	20	30	600,00 €
Horas totales: 155		TOTAL (IVA no inc.)	4.650,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	5.626,50 €

Tabla 7. Cálculo de los costes de personal experimentado. Fuente: propia.

1.2.2. Software

Para la realización del software del proyecto, se ha realizado un estudio para encontrar el entorno óptimo para el sistema y posteriormente aprender a utilizarlo. Finalmente, con la programación realizada, se simula para comprobar el buen funcionamiento.

En la siguiente tabla se muestran las horas realizadas, para el estudio del software, por dos ingenieros *junior*:

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	50	18	900,00 €
Aprendizaje entorno	45	18	810,00 €
Programación sistemas	105	18	1.890,00 €
Simulaciones	40	18	720,00 €
Horas totales: 240		TOTAL (IVA no inc.)	4.320,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	5.227,20 €

Tabla 8. Cálculo de los costes de personal junior. Fuente: propia.

A continuación, en la Tabla 9, se expone el coste previsto del estudio del software, si se hubiese realizado por dos ingenieros experimentados:

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	20	30	600,00 €
Aprendizaje entorno	10	30	300,00 €
Programación sistemas	60	30	1.800,00 €
Simulaciones	25	30	750,00 €
Horas totales: 115		TOTAL (IVA no inc.)	3.450,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	4.174,50 €

Tabla 9. Cálculo de los costes de personal experimentado. Fuente: propia.

En este caso, el número de horas necesario para los ingenieros expertos es menor de la mitad del de los ingenieros *junior*, por lo que su coste es menor.

1.2.3. Comunicaciones

Para la realización de la comunicación mediante *bluetooth*, se ha realizado un estudio comparando las diferentes opciones para llevar a cabo la aplicación y su comunicación con el microcontrolador. Para ello se han realizado diversos programas, con sus respectivas pruebas.

En la Tabla 10, se detallan las horas realizadas por los ingenieros *junior* para el desarrollo del estudio de las comunicaciones.

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	30	18	540,00 €
Aprendizaje entorno	60	18	1.080,00 €
Programación	80	18	1.440,00 €
Pruebas	90	18	1.620,00 €
Horas totales: 260		TOTAL (IVA no inc.)	4.680,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	5.662,80 €

Tabla 10. Cálculo de los costes de personal junior. Fuente: propia.

En la Tabla 11 se muestran los costes previstos del estudio de comunicaciones si se hubiera realizado por dos ingenieros experimentados.

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	20	30	600,00 €
Aprendizaje entorno	30	30	900,00 €
Programación	60	30	1.800,00 €
Pruebas	40	30	1.200,00 €
Horas totales: 150		TOTAL (IVA no inc.)	4.500,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	5.445,00 €

Tabla 11. Cálculo de los costes de personal experimentado. Fuente: propia.

1.2.4. Unidad domótica principal

En la Tabla 12 se muestra el coste de los componentes de la unidad domótica principal.

Cantidad	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
2		Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
1		Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
1		Cristal de cuarzo 32,768 kHz	0,2554	0,26 €
1		Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
1	LM044L	Display LCD 20x4	23,8980	23,90 €
1	PCF8574	Interfaz I2C para Display LCD	0,5300	0,53 €
1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
1	HC-06	Módulo Bluetooth	7,9840	7,98 €
1		Pila 3 V	1,7200	1,72 €
1		Potenciómetro 10 kΩ	0,7500	0,75 €
1		Pulsador Reset	0,2600	0,26 €
1	DS1307	Real Time Clock (RTC)	3,5200	3,52 €
1		Resistencia 33 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
2		Resistencia 47 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
1		Teclado matricial 4x4	1,5700	1,57 €
			TOTAL (IVA no inc.)	51,67 €
			IVA	21 %
			TOTAL (IVA inc.)	62,52 €

Tabla 12. Cálculo de los costes de material del plano 2. Fuente: propia.

1.2.5. Sistema de iluminación

En la Tabla 13 se muestra el coste de los componentes del sistema de iluminación.

Cantidad	Posición	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
9	-	40.31.9.024	Relé	5,0500	45,45 €
7	-	QL004L4	TRIAC	1,4300	10,01 €
1	BR1	KBPC10005	Puente rectificador de Graetz	0,6765	0,68 €
7	C1, C2, C3, C4, C5, C6, C10		Condensador cerámico 100 nF	0,0958	0,67 €
1	C7		Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
2	C8, C9		Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
9	D1, D2, D3, D4, D5, D6, D7, D8, D9	1N4007	Diodo rectificador 1 A	0,0200	0,18 €
14	L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, L8, L9, L10, L11, L12, L13, L14		Bombilla 220 V	1,2900	18,06 €
6	LDR1, LDR2, LDR3, LDR4, LDR5, LDR6		LDR de 1 kΩ	1,3000	7,80 €
3	PIR1, PIR2, PIR3	HC-SR501	Sensor PIR de presencia	4,2500	12,75 €
9	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, Q7, Q8, Q9	BC547	Transistor NPN	0,0275	0,25 €
7	R1, R6, R9, R12, R15, R18, R21		Resistencia 220 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,14 €
7	R2, R5, R8, R11, R14, R17, R20		Resistencia 180 Ω 5%	0,9500	6,65 €
6	R22, R23, R25, R26, R27, R29		Resistencia 500 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,12 €
9	R24, R28, R36, R37, R38, R39, R40, R41, R42		Resistencia 18 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,18 €
7	R3, R4, R7, R10, R13, R16, R19		Resistencia 2,2 kΩ 5%	3,5100	24,57 €
3	R30, R31, R32		Resistencia 1 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,06 €
1	R33		Resistencia 33 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
1	R35		Resistencia 47 kΩ 5%	5,7100	5,71 €
1	U1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
1	U16	4N35	Optoacoplador tipo BJT NPN	0,7900	0,79 €
7	U3, U4, U6, U8, U10, U12, U14	MOC3061	Optoacoplador tipo DIAC	0,9000	6,30 €
1	X1		Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
				TOTAL (IVA no inc.)	151,51 €
				IVA	21 %
				TOTAL (IVA inc.)	183,32 €

Tabla 13. Cálculo de los costes de material del plano 4. Fuente: propia.

1.2.6. Sistema de climatización

En la Tabla 14 se muestra el coste de los componentes del sistema de climatización.

Cantidad	Posición	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
3	-	40.31.9.024	Relé	5,0500	15,15 €
1	C7		Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
2	C8, C9		Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
2	CLIM, CALEF		LEDs indicadores	0,1100	0,22 €
2	CLIMATIZACION, CALEFACCION		Interruptor	0,8200	1,64 €
3	D1, D2, D3	1N4007	Diodo rectificador 1 A	0,0200	0,06 €
5	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5	BC547	Transistor NPN	0,0275	0,14 €
1	R1		Resistencia 4,7 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
2	R2, R3		Resistencia 100 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
2	R30, R31		Resistencia 1 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
1	R33		Resistencia 33 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
5	R4, R5, R6, R7, R8		Resistencia 18 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,10 €
1	SW2		Pulsador Reset	0,2600	0,26 €
1	U1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
1	U2	DHT11	Sensor digital de temperatura y humedad	4,1500	4,15 €
1	X1		Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
				TOTAL (IVA no inc.)	32,96 €
				IVA	21 %
				TOTAL (IVA inc.)	39,88 €

Tabla 14. Cálculo de los costes de material del plano 6. Fuente: propia.

1.2.7. Limitación de cargas

En la Tabla 15 se muestra el coste de los componentes de la sistema de limitación de cargas.

Cantidad	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
2		Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
1		Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
1		Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
11	1N4007	Diodo rectificador 1 A	0,0200	0,22 €
2		Interruptor	0,8200	1,64 €
3		LEDs indicadores	0,1100	0,33 €
1	BMW 700	Medidor de batería	150,1600	150,16 €
1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
1		Pulsador Reset	0,2600	0,26 €
11	40.31.9.024	Relé	5,0500	55,55 €
2		Resistencia 1 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
3		Resistencia 100 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,06 €
14		Resistencia 18 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,28 €
1		Resistencia 33 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
11	BC547	Transistor NPN	0,0275	0,30 €
			TOTAL (IVA no inc.)	219,98 €
			IVA	21 %
			TOTAL (IVA inc.)	266,18 €

Tabla 15. Cálculo de los costes de material del plano 8. Fuente: propia.

1.2.8. Sistema de seguridad

En la Tabla 16 se muestra el coste de los componentes del sistema de seguridad.

Cantidad	Posición	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
2	C8, C9		Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
1	C7		Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
1	X1		Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
2	PUERTA CALLE, PUERTA JARDIN		Detector magnético de puertas	5,9700	11,94 €
2	ALARMA, ACT.AL.		LEDs indicadores	0,1100	0,22 €
1	U1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
1	ACTIVACION ALARMA		Pulsador	0,2600	0,26 €
1	SW2		Pulsador Reset	0,2600	0,26 €
4	R4, R5, R6, R7		Resistencia 1 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,08 €
2	R8, R9		Resistencia 100 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
2	R1, R2		Resistencia 18 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
1	R33		Resistencia 33 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
1	SENSOR PIR	HC-SR501	Sensor PIR de presencia	4,2500	4,25 €
1	KBD		Teclado matricial 4x4	1,5700	1,57 €
5	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5	BC547	Transistor NPN	0,0275	0,14 €
				TOTAL (IVA no inc.)	29,94 €
				IVA	21 %
				TOTAL (IVA inc.)	36,23 €

Tabla 16. Cálculo de los costes de material del plano 10. Fuente: propia.

1.2.9. Simulación de presencia

En la Tabla 17 se muestra el coste de los componentes del sistema de simulación de presencia.

Cantidad	Posición	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
1	L1, L2, L8	BL-E27-A60-5	Bombilla 220 V	0,9900	0,99 €
2	C1, C2		Condensador cerámico 100 nF	0,0958	0,19 €
2	C8, C9		Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
1	C7		Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
1	X1		Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
3	D1, D2, D3	1N4007	Diodo rectificador 1 A	0,0200	0,06 €
1	SIM. PRESENCIA		Interruptor	0,8200	0,82 €
2	LDR1, LDR2		LDR de 1 kΩ	1,3000	2,60 €
1	U1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
1	U16	4N35	Optoacoplador tipo BJT NPN	0,7900	0,79 €
2	U3, U4	MOC3061	Optoacoplador tipo DIAC	0,9000	1,80 €
1	BR1	KBPC10005	Puente rectificador de Graetz	1,9600	1,96 €
1	SW2		Pulsador Reset	0,2600	0,26 €
1	R7		Resistencia 1 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
3	R8, R9, R10		Resistencia 18 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,06 €
2	R2, R5		Resistencia 180 Ω 5%	0,9500	1,90 €
2	R3, R4		Resistencia 2,2 kΩ 5%	3,5100	7,02 €
2	R1, R6		Resistencia 220 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
1	R33		Resistencia 33 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
1	R35		Resistencia 47 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
2	R22, R23		Resistencia 500 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
3	Q1, Q2, Q3	BC547	Transistor NPN	0,0275	0,08 €
2	U2, U5	QL004L4	TRIAC	1,4300	2,86 €
				TOTAL (IVA no inc.)	32,66 €
				IVA	21 %
				TOTAL (IVA inc.)	39,51 €

Tabla 17. Cálculo de los costes de material del plano 12. Fuente: propia.

1.2.10. Monitorización de consumos

En la Tabla 18 se muestra el coste de los componentes del sistema de monitorización de consumos.

Cantidad	Posición	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
9	C1, C3, C5, C10, C12, C14, C16, C18, C20		Condensador cerámico 1 nF	0,0958	0,86 €
9	C2, C4, C6, C11, C13, C15, C17, C19, C21		Condensador cerámico 100 nF	0,0958	0,86 €
1	C7		Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
2	C8, C9		Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
1	R33		Resistencia 33 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
1	SW2		Pulsador Reset	0,2600	0,26 €
1	U1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
9	U2, U3, U4, U5, U6, U7, U8, U9, U10	STC013	Sensor de corriente (ver observaciones plano 8)	6,5300	58,77 €
1	X1		Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
				TOTAL (IVA no inc.)	71,90 €
				IVA	21 %
				TOTAL (IVA inc.)	86,99 €

Tabla 18. Cálculo de los costes de material del plano 14. Fuente: propia.



1.2.11. Evaluación de costes

En el presente apartado se hace el cómputo de cada tipo de coste, de manera que se divide en tres categorías: coste de material, coste de ingeniería para personal experimentado y personal *junior*. A continuación se detalla cada uno de estos costes.

Los costes de material constituyen gran parte del presupuesto del proyecto, siendo para la instalación domótica y el sistema de alimentación un coste de 22.652,40 €, mientras que el sistema domótico supone un coste de 714,63 €. En total, se destinan 23.367,03 € al material.

Por otra parte, los costes de ingeniería para personal *junior* suponen una cifra de 22.530,20 €, repartiéndose en 6.195,20 € para la instalación energética de la vivienda y en 16.335,00 € para el diseño del sistema de control domótico.

Para el caso de ingenieros experimentados, las horas de trabajo se reducen mientras que el sueldo bruto aumenta, llegando a una cifra de 23.111,00 €, siendo 7.865,00 € para el diseño de la instalación fotovoltaica y de la alimentación, mientras que 15.246,00 € son destinados al diseño de las unidades domóticas.

2. Coste del prototipo de pruebas

En este apartado se exponen los costes del diseño y creación del prototipo de pruebas. De esta manera se han tenido en cuenta las horas realizadas por los dos ingenieros *junior*, además de, el coste relacionado a los componentes utilizados.

En la Tabla 19 se detallan las horas realizadas en la realización del prototipo de pruebas:

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Encontrar solución	30	18	540,00 €
Ensayos componentes	15	18	270,00 €
Programación	30	18	540,00 €
Diseño PCBs	50	18	900,00 €
Pruebas	70	18	1.260,00 €
Montaje	30	18	540,00 €
Horas totales: 225		TOTAL (IVA no inc.)	4.050,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	4.900,50 €

Tabla 19. Cálculo de los costes de personal junior. Fuente: propia.

2.1. PCB1

En la siguiente Tabla 20, se muestran el coste de los componentes de la primera placa de circuito impreso, encargada de proteger a la unidad domótica y proporcionarle las tensiones comentadas en la memoria técnica.

Cantidad	Posición	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
1	C1	ELR10025	Condensador electrolítico 10 uF	0,0400	0,04 €
3	C2, C3, C4	CER10463	Condensador cerámico 100 nF	0,0958	0,29 €
1	D1	1N4007	Diodo rectificador 1 A	0,0200	0,02 €
2	D2	L5V	LED Verde	0,1100	0,22 €
10	F	2601R	Fusible	0,0950	0,95 €
1	J1	CBA19B	Conector PowerJack	0,4500	0,45 €
2	J2	BS2	Regleta de conexión 2 pines	0,3100	0,62 €
1	PF1	PFP2	Portafusible	0,1683	0,17 €
1	R1	-	Resistencia 100 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
1	SW1	C2DP1CA	Switch conmutador	0,1400	0,14 €
1	U1	7805	Regulador de tensión 5V	0,2024	0,20 €
1	U2	7803	Regulador de tensión 3,3V	0,4149	0,41 €
1	-	PB080X060	PCB1	2,2400	2,24 €
				TOTAL (IVA no inc.)	5,77 €
				IVA	21 %
				TOTAL (IVA inc.)	6,99 €

Tabla 20. Cálculo de los costes de material del plano 15. Fuente: propia.

2.2. PCB2

En la siguiente Tabla 21, se muestran el coste de los componentes de la segunda placa de circuito impreso, la cual es la unidad central del prototipo:

Cantidad	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
2	-	Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
1	-	Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
1	-	Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
2	-	Jumper 0 Ω	0,0400	0,08 €
1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
1	PB120X080	PCB2	5,1300	5,13 €
1	-	Pulsador PICKit3	0,2600	0,26 €
35	-	Regleta de conexión 1 pin	0,1600	5,60 €
1	C2DP1CA	Switch conmutador	0,1400	0,14 €
1	-	Tira de pines macho x6	0,6900	0,69 €
			TOTAL (IVA no inc.)	23,02 €
			IVA	21 %
			TOTAL (IVA inc.)	27,86 €

Tabla 21. Cálculo de los costes de material del plano 17. Fuente: propia.

2.3. Prototipo de la unidad domótica

A continuación, en la Tabla 22, se muestran el coste de los componentes del prototipo de la unidad domótica:

Cantidad	Posición	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
1	C7		Condensador cerámico 1 nF	0,0958	0,10 €
1	C4		Condensador cerámico 100 nF	0,0958	0,10 €
2	C1, C2		Condensador cerámico 22 pF	0,0600	0,12 €
1	C3		Condensador cerámico 470 nF	0,1890	0,19 €
1	X2		Cristal de cuarzo 32,768 kHz	0,2554	0,26 €
1	X1		Cristal de cuarzo 4 MHz	0,2554	0,26 €
3	D1, D2, D3		Diodo rectificador 1 A	0,0200	0,06 €
1	LCD1	LM044L	Display LCD 20x4	23,8980	23,90 €
1	U3	PCF8574	Interfaz I2C para Display LCD	0,5300	0,53 €
3	PUERTA CALLE, PIR1, PIR2		Interruptor	0,8200	2,46 €
2	LDR1, LDR2		LDR de 1 kΩ	1,3000	2,60 €
8	CLIMA, AL.PROG, ALARMA, OK, M.A, EM, LED REGULABLE, LED PIR		LEDs indicadores	0,1100	0,88 €
1	U1	PIC18F4550	Microcontrolador PIC18	10,5570	10,56 €
1	BAT2		Pila 3 V	1,7200	1,72 €
1	RV2		Potenciómetro 1 kΩ	0,7500	0,75 €
1	RV1		Potenciómetro 10 kΩ	0,7500	0,75 €
6	A, B, C, D, M, AL		Pulsador	0,2600	1,56 €
1	SW2		Pulsador Reset	0,2600	0,26 €
1	U2	DS1307	Real Time Clock (RTC)	3,5200	3,52 €
3	-		Relé	5,0500	15,15 €
4	R5, R6, R25, R26, R27, R28, R29, R30, R33, R34		Resistencia 1 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,08 €
1	R1		Resistencia 10 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
8	R9, R10, R11, R15, R16, R17, R21, R22		Resistencia 100 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,16 €
11	R4, R12, R13, R14, R18, R19, R20, R23, R24, R31, R32		Resistencia 18 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,22 €
2	R7, R8		Resistencia 47 kΩ 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
2	R3, R4		Resistencia 500 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
1	U4	ACS712	Sensor de corriente	0,9300	0,93 €
1	U5	LM35	Sensor de temperatura analógico	1,8200	1,82 €
11	Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q7, Q8, Q9, Q12, Q13, Q14	BC547	Transistor NPN	0,0275	0,30 €
				TOTAL (IVA no inc.)	69,32 €
				IVA	21 %
				TOTAL (IVA inc.)	83,88 €

Tabla 22. Cálculo de los costes de material del plano 19. Fuente: propia.

2.4. Prototipo de comunicaciones

A continuación, en la Tabla 23, se muestran el coste de los componentes del prototipo de comunicaciones:

Cantidad	Posición	Referencia	Descripción	Precio unitario [€]	Subtotal
2	LDR1, LDR2		LDR de 1 k Ω	1,3000	2,60 €
1	D1		LED Verde	0,1100	0,11 €
1	HC06	HC-06	Módulo Bluetooth	7,9840	7,98 €
1	ARDUINO UNO		Placa de desarrollo Arduino UNO	23,1500	23,15 €
1	RV1		Potenciómetro 10 k Ω	0,7500	0,75 €
1	R1		Resistencia 100 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,02 €
2	R3, R4		Resistencia 500 Ω 5% 0,25 W	0,0200	0,04 €
1	U2	DHT11	Sensor digital de temperatura y humedad	4,1500	4,15 €
1	Q1	BC547	Transistor NPN	0,0275	0,03 €
				TOTAL (IVA no inc.)	38,83 €
				IVA	21 %
				TOTAL (IVA inc.)	46,99 €

Tabla 23. Cálculo de los costes de material del plano 20. Fuente: propia.

3. Coste de una producción seriada

En el caso de lanzar una producción en serie de n unidades del producto en cuestión, se llevaría a cabo una orden de fabricación para la empresa encargada de realizar el montaje y ensamblaje de los equipos. Cabe destacar que, en este caso, para cada producto no es necesario rediseñar ciertos aspectos, sino que el producto se encuentra en una fase de desarrollo avanzada y se decide lanzar una producción, considerando los costes de montar la instalación solar y el hardware (montaje de las PCBs), además de realizar las pruebas de puesta en marcha (grabación del software en los equipos) y de instalar la infraestructura del bus I2C, junto con el cableado que necesite cada dispositivo. En la Tabla 24 se indica el coste, en tiempo y en €, de cada uno de los aspectos comentados anteriormente.

Descripción	Horas [h]	Salario bruto [€/h]	Subtotal
Montaje fotovoltaico	80	10	800,00 €
Montaje hardware	40	10	400,00 €
Pruebas funcionales	30	10	300,00 €
Comunicaciones	20	10	200,00 €
Horas totales:		170	
		TOTAL (IVA no inc.)	1.700,00 €
		IVA	21 %
		TOTAL (IVA inc.)	2.057,00 €

Tabla 24. Cálculo de los costes de material de una producción seriada. Fuente: propia.

Como se puede apreciar en la tabla, el coste es únicamente de montaje, ya que el producto se ha producido en un lote de tamaño n . Es necesario destacar que en los datos de la Tabla 23 se contempla el tiempo necesario para un único producto; hay que multiplicar el coste total por el número de unidades producidas y añadirle los costes de ingeniería una única vez. El coste de cada unidad se calcula según la Expresión 1. Se ha considerado que los costes de ingeniería son relativos a los costes de personal *junior*.

$$C_{\text{unitario}} = \frac{n(C_{\text{materiales}} + C_{\text{montaje}}) + C_{\text{ingeniería}}}{n} \quad (1)$$

Suponiendo tamaños de lote diferentes se observa que el coste unitario se ve reducido cuanto mayor es el tamaño del lote producido, tal y como se indica en la Figura 1. Más concretamente se puede decir que el coste de una unidad es inversamente proporcional al tamaño n de la producción fabricada.

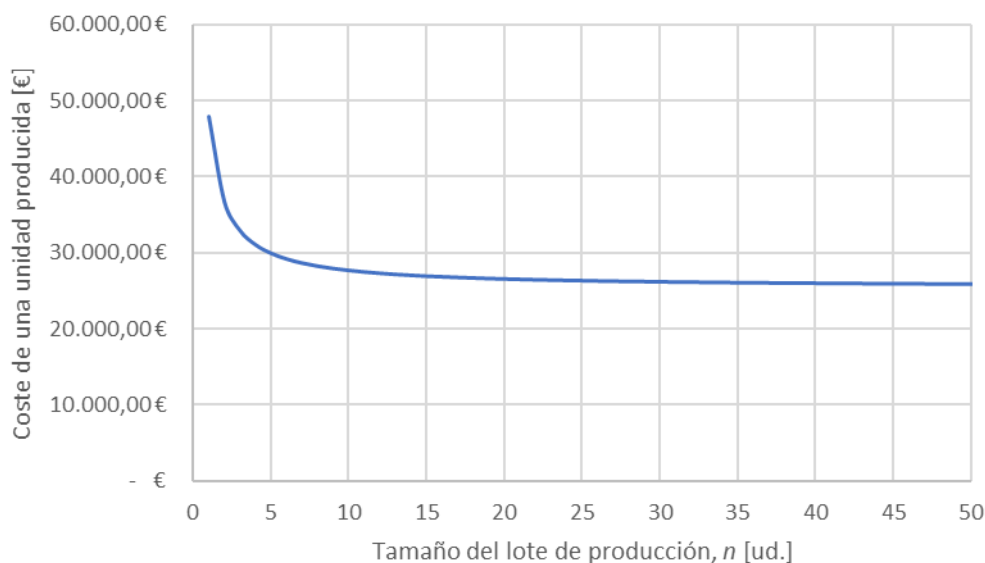


Figura 1. Gráfico de la función $C_{\text{unitario}}(n)$. Fuente: propia.

Como se puede observar en el gráfico, el coste unitario tiende a unos 25.000 €; matemáticamente, se trata de un límite igual a 25.442,03 € ($n \rightarrow \infty$), equivalente a la suma de los costes de material y los costes de montaje, despreciando los costes de ingeniería, que van distribuyéndose en cada unidad, hasta llegar a ser un valor nulo (suponiendo que se producen unidades infinitas, teóricamente).

En el caso que esta producción fuera iniciada por un cliente, se facturaría por separado el coste de ingeniería dentro del precio unitario del producto, siendo posible una amortización a partir de un número de productos, n . Se considera el coste de ingeniería del personal *junior* (véase apartado 1.2.11.), el coste del material necesario (véase también apartado 1.2.11.) y un número de instalaciones implementadas de $n = 20$, es necesario facturar el pago del cliente tal y como se indica en la Expresión 2. El resultado obtenido es el precio unitario (IVA incluido) que paga cada cliente por su instalación.

$$P.V.P. (iva incl.) = C_{\text{material}} + \frac{C_{\text{ingeniería}}}{n} = 22.652,4 + \frac{22.530,2}{20} = 23.778,91 \text{ €} \quad (2)$$

En resumen, la idea que se transmite se basa en la amortización del coste de diseño que realizan los ingenieros y operarios, siendo el precio final de 23.778,91 € por montar la instalación y extrayendo beneficios a partir de $n = 21$ productos vendidos. Cabe mencionar que el cálculo de la Expresión 2 se corresponde con una estimación, debido a que no todas las instalaciones que se efectúen requerirán exactamente los mismos recursos.